



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2009144866/28, 02.12.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.12.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.12.2009

(43) Дата публикации заявки: 10.06.2011 Бюл. № 16

(45) Опубликовано: 20.11.2011 Бюл. № 32

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Вьюхин В.В. и др. "Изучение кинематической вязкости расплавов" методические указания к лабораторной работе по физике. - Екатеринбург, ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет - УПИ, с.5, 2006 г. RU 69249 U1, 10.12.2007. RU 2349898 C1, 20.03.2009. "Заводская лаборатория" (Г.В.Тягунов-Установка для измерения кинематической вязкости (см. прод.)

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, ГОУ ВПО "УГТУ-УПИ", Центр интеллектуальной собственности, Т.В. Маркс

(72) Автор(ы):

Поводатор Аркадий Моисеевич (RU),  
Конашков Виктор Васильевич (RU),  
Вьюхин Владимир Викторович (RU),  
Цепелев Владимир Степанович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный технический университет - УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" (RU)

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ РАСПЛАВОВ**

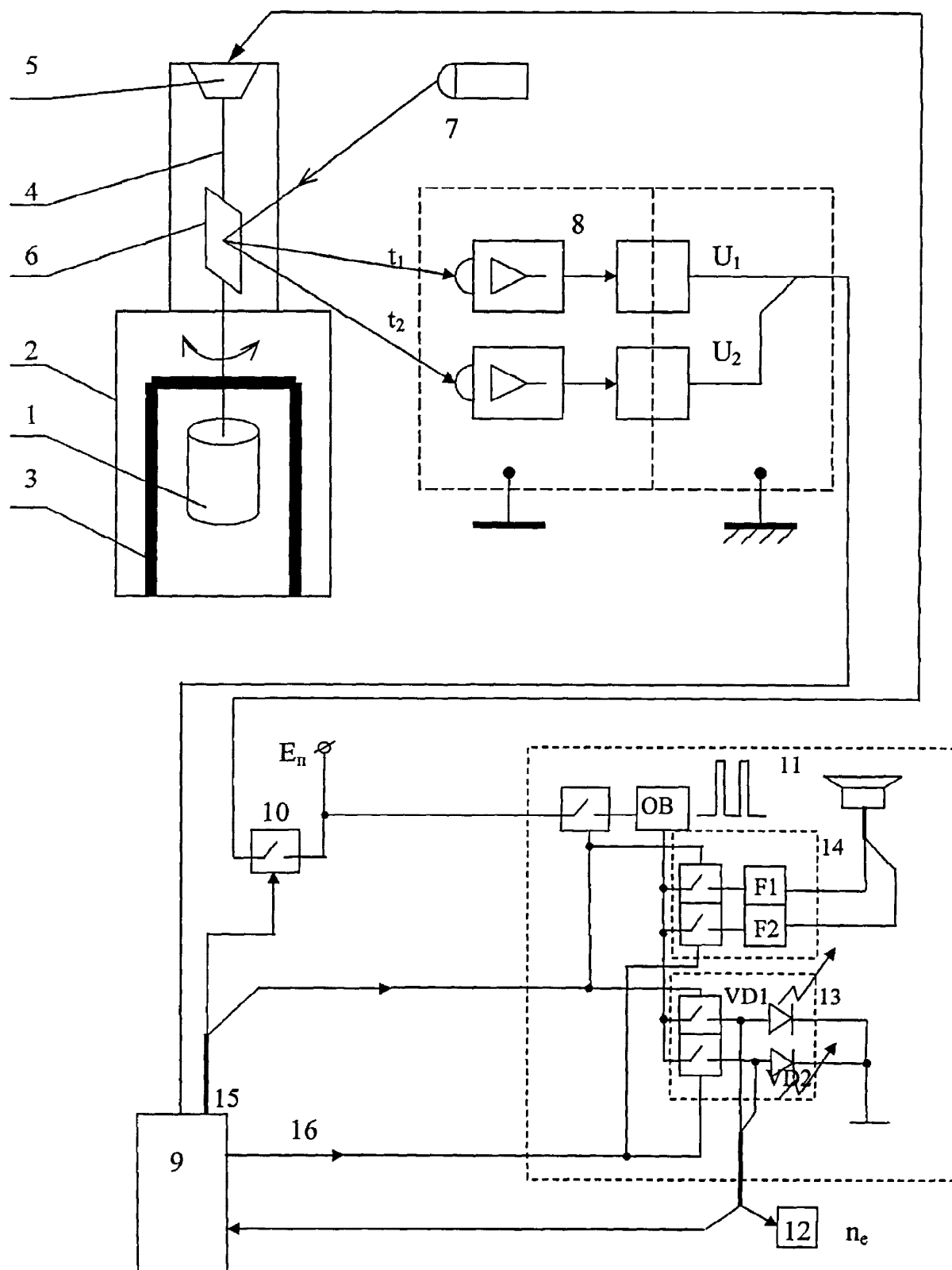
(57) Реферат:

Устройство относится к технической физике, а именно к устройствам для определения, контроля и измерения физических параметров веществ, и предназначено для бесконтактного измерения вязкости металлических расплавов нестационарным методом на основе оценки процесса затухания крутильных колебаний тигля с расплавом. Устройство для изучения кинематической вязкости расплавов содержит вискозиметрический модуль в вакуумируемой и водоохлаждаемой камере, вдоль оси которой, в зоне нагрева электронагревателя, размещена подвесная система с тиглем. Также устройство

содержит блок разгона подвесной системы, выключатель блока разгона, зеркало, источник света, фотоприемное устройство, компьютер. Кроме того, в устройство введены блок визуальной и звуковой сигнализации, содержащий, по меньшей мере, один визуальный и один звуковой сигнализаторы, счетчик с индикатором, входная шина блока визуальной и звуковой сигнализации соединена с одним из портов компьютера. При этом вход счетчика с индикатором и компьютер соединены с выходной шиной блока визуальной и звуковой сигнализации, а выключатель блока разгона соединен также с одним из портов компьютера. Техническим

результатом изобретения является упрощение и оптимизация процедуры измерения вязкости, при сокращении времени измерений с одновременным уменьшением угара компонентов расплава при сохранении

достоверности и точности определения амплитудно-временных параметров затухания крутильных колебаний тигля с расплавом. 2 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):

металлических расплавов, с.919-920, №10, 1980). JP 56122933 A, 26.09.1981. Филиппов С.И. и др. Физико-химические методы исследования металлургических процессов. - М.: Металлургия, 1968, с.246. SU 868470 A1, 30.09.1981.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2009144866/28, 02.12.2009**(24) Effective date for property rights:  
**02.12.2009**

Priority:

(22) Date of filing: **02.12.2009**(43) Application published: **10.06.2011 Bull. 16**(45) Date of publication: **20.11.2011 Bull. 32**

Mail address:

**620002, g.Ekaterinburg, ul. Mira, 19, GOU VPO  
"UGTU-UPI", Tsentr intellektual'noj  
sobstvennosti, T.V. Marks**

(72) Inventor(s):

**Povodator Arkadij Moiseevich (RU),  
Konashkov Viktor Vasil'evich (RU),  
V'jukhin Vladimir Viktorovich (RU),  
Tsepelev Vladimir Stepanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie  
vysshego professional'nogo obrazovaniya  
"Ural'skij gosudarstvennyj tekhnicheskij  
universitet - UPI imeni pervogo Prezidenta  
Rossii B.N. El'tsina" (RU)**

**(54) APPARATUS FOR INVESTIGATING KINEMATIC VISCOSITY OF MELTS**

(57) Abstract:

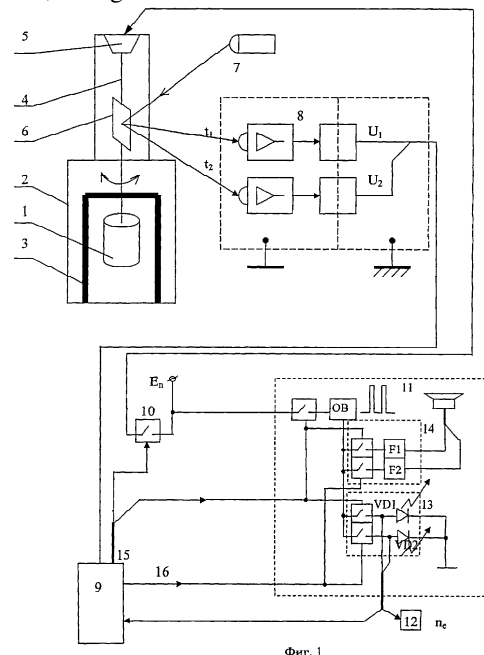
FIELD: physics.

SUBSTANCE: apparatus for investigating kinematic viscosity of melts has a viscosimetric module in an evacuated or water-cooled chamber, along the axis of which a suspension system with a crucible is placed in the heating zone of an electric heater. The apparatus also has a suspension system accelerating unit, an accelerating unit switch, a mirror, a light source, a photodetector and a computer. The device also includes a visual and audio signalling unit, having at least one visual and one audio signalling device, a counter with a display. The input bus of the visual and audio signalling unit is connected to one of the computer ports. The input of the counter with a display and the computer are connected to the output bus of the visual and audio signalling unit, and the acceleration unit switch is also connected to one of the computer ports.

EFFECT: simplification and optimisation of the procedure of measuring viscosity, while cutting the measurement time and reducing wastes from melt components while maintaining reliability and

accuracy of determining amplitude-time parameters of damping torsional vibrations of the crucible with the melt.

3 cl, 5 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к физике и металлургии, а именно - к устройствам, используемым в исследовательских и лабораторных работах, и применяется для сигнализации и измерения физических параметров расплавов; оно предназначено для бесконтактного измерения кинематической вязкости металлических расплавов, в частности высокотемпературных, фотометрическим нестационарным методом на основе измерения затухания крутильных колебаний цилиндрического тигля с расплавом. Дополнительной сферой применения являются производственные процессы.

Измерение физико-химических параметров металлических жидкостей, расплавов и шлаков, в частности вискозиметрия - определение вязкости  $\nu$  высокотемпературных расплавов, в объеме нескольких см<sup>3</sup>, позволяет наглядно демонстрировать структурно-чувствительные характеристики жидкости, проводить прогностический анализ материалов и давать рекомендации для получения сплавов с заданными характеристиками на промышленных предприятиях; в частности, политермы вязкости  $\nu$  (от температуры) позволяют выделять критические температурные точки и гистерезисные характеристики нагрева-охлаждения. Однако для высокотемпературных исследований металлических расплавов лишь немногие методы измерения вязкости  $\nu$  и соответственно устройства для их реализации используют на практике. В частности, известно устройство, предназначенное для выполнения студентами вуза лабораторных работ, в котором используют нестационарный бесконтактный фотометрический (на базе измерения траектории светового «зайчика») метод определения кинематической вязкости  $\nu$  на основе предварительного вычисления логарифмического декремента затухания  $\delta$ . Определение  $\delta$  производят путем измерения амплитуд экспоненциально затухающих свободных колебаний  $A_i$ , периодов  $T_i$ , временных значений  $t_i$ , длительностей временных отрезков  $\tau_i$ , числа  $n_i$  крутильных колебаний тигля с расплавом:

$$\delta = 1 / n \times \{ \ln (A_0 / A_n) \} = 1 / n \times \{ \ln (\tau_n / \tau_0) \} \quad [1]$$

При этом используют произвольное, пригодное для конкретной установки, число  $n_i$  амплитуд  $A_i$  затухающих колебаний для определения  $\delta$  путем измерения амплитудно-временных параметров затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити в зоне нагрева вакуумной печи - см. Вьюхин В.В. и др. - «Изучение кинематической вязкости расплавов» - методические указания к лабораторной работе по физике, Екатеринбург, ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет - УПИ, 2006 г., с.5 - аналог.

Недостатком устройства является сложность каждого эксперимента вследствие зависимости процедуры от параметров конкретного оборудования, произвольности и субъективности выбора параметров затухающих колебаний для определения  $\delta$ : например,  $n_i$  принимают равным от 4...5 до 8...11 по рекомендациям разных экспериментаторов - см. С.И. Филиппов и др. «Физико-химические методы исследования металлургических процессов», М.: Металлургия, 1968, с.246. При этом произвольно и субъективно выбранная последняя измеренная амплитуда  $A_{n_i}$  может быть любой величины и изменяться как от опыта к опыту с одним расплавом, так и для разных расплавов. Поэтому приходится проводить длительные, иногда многовариантные измерения с дополнительной статистической обработкой результатов. Устройство не обеспечивает типовой процедуры измерения параметров затухания, что затрудняет сравнение результатов различных экспериментов. В устройстве отсутствует автоматическое выделение параметров крутильных колебаний тигля с расплавом в характерных важных моментах процедуры измерения, а также

выделение и индикация этих моментов. Отсюда - субъективная временная динамика экспериментов: включение исследователем вручную разгона, т.е. принудительного закручивания упругой нити, начала свободных затухающих крутильных колебаний и выбор исследователем начального момента измерения параметров ( $t_0=0$ ,  $A_i=A_0$ ),  
 5 окончание измерения параметров, начала нового цикла измерений, т.е. начала нового принудительного закручивания упругой нити. Даже для квалифицированного исследователя с опытом работы требуется непрерывный контроль и коррекция хода экспериментов. Для малоквалифицированного персонала, например студентов,  
 10 выполняющих данную работу как лабораторную, отсутствие однозначной индикации вышеотмеченных моментов чревато, во-первых, частичным или полным отсутствием понимания динамики процедуры вискозиметрии расплавов; во-вторых, опасностью неверных действий и возникновением нештатных ситуаций, вплоть до срыва исследования; в-третьих, получением ложного или недостоверного конечного  
 15 результата исследования. Автоматизированная установка в этом случае непригодна - см. вышеуказанное - Вьюхин В.В. и др..., с.13, но и полуавтоматический режим не гарантирует от ошибок и грубых промахов в эксперименте.

Известно устройство для бесконтактного измерения вязкости  
 20 высокотемпературных металлических расплавов - см. патент на полезную модель РФ №69249, G01/N 11/16, публ. 10.12.2007, бюл. №34 - прототип, содержащее вискозиметрический модуль в вакуумируемой и водоохлаждаемой цилиндрической камере, вдоль оси которой, в зоне нагрева электронагревателя, размещена подвесная система с тиглем, блок разгона подвесной системы на заданный угол для запуска  
 25 крутильных колебаний, выключатель блока разгона, зеркало, источник света, фотоприемное устройство, компьютер-прототип.

Недостатком этого устройства, как и приведенного выше, является то, что имеется субъективная и отсутствует объективная и однозначная для исследователя индикация  
 30 и оценка ряда моментов в процедуре экспериментов, т.к. отсутствует автоматическое выделение параметров крутильных колебаний тигля с расплавом в характерных важных моментах процедуры измерения, например, выключения разгона - принудительного закручивания упругой нити, старта свободных крутильных колебаний, начала измерения параметров затухающих колебаний, окончания  
 35 измерения этих параметров, начала нового цикла измерений. Вышеуказанное не позволяет упростить и, в ряде случаев, ускорить эксперимент, требует повышенного внимания непрерывно в процессе исследования и не позволяет осуществить самостоятельное проведение экспериментов персоналом невысокой квалификации,  
 40 например студентами.

Задачей предлагаемого изобретения является упрощение процедуры определения кинематической вязкости высокотемпературных металлических расплавов посредством предлагаемого устройства изучения кинематической вязкости расплавов, обеспечение возможности работы с устройством малоквалифицированному  
 45 персоналу, например студентам, сокращение времени измерений и уменьшение угара компонентов расплавов в большинстве экспериментов, а также обеспечение достоверности и сравнимости процедуры и результатов экспериментов.

Для решения поставленной задачи предлагается устройство изучения кинематической вязкости расплавов.  
 50

В устройство для изучения кинематической вязкости расплавов, содержащее вискозиметрический модуль в вакуумируемой и водоохлаждаемой камере, вдоль оси которой, в зоне нагрева электронагревателя, размещена подвесная система с тиглем,

блок разгона подвесной системы, выключатель блока разгона, зеркало, источник света, фотоприемное устройство, компьютер, введены: блок визуальной и звуковой сигнализации, содержащий, по меньшей мере, один визуальный и один звуковой сигнализаторы; счетчик с индикатором, со следующими соединениями: входная шина

5 блока визуальной и звуковой сигнализации соединена с одним из портов компьютера, вход счетчика с индикатором и компьютер соединены с выходной шиной блока визуальной и звуковой сигнализации, выключатель блока разгона соединен с одним из портов компьютера.

10 Кроме того, блок визуальной и звуковой сигнализации выполнен в виде, по меньшей мере, двухдиапазонного оптического и двухчастотного звукового сигнализатора с регулируемыми параметрами, например, временем сигнализации.

Кроме того, выключатель блока разгона выполнен в виде электронного ключа.

15 Отличительные признаки предложенного технического решения обеспечивают упрощение процедуры определения кинематической вязкости высокотемпературных металлических расплавов посредством предлагаемого устройства изучения кинематической вязкости расплавов, обеспечение возможности работы с устройством малоквалифицированному персоналу, например студентам, сокращение времени

20 измерений и уменьшение угара компонентов расплавов в большинстве экспериментов, а также обеспечение достоверности и сравнимости процедуры и результатов экспериментов.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами:

25 фиг.1. Блок-схема измерительного комплекса;

фиг.2. Осциллограмма траектории отраженного светового луча, соответствующей крутильным колебаниям тигля с расплавом;

фиг.3. Экспериментальные данные затухающих крутильных колебаний и погрешности измерений в виде стандартных отклонений  $\sigma^2$ : а - чистая

30 электротехническая медь,  $t^\circ=1150^\circ\text{C}$ ; б - высоколегированный чугун,  $t^\circ=1350^\circ\text{C}$ ;

фиг.4. Экспериментальные данные затухающих крутильных колебаний и погрешности измерений в виде коэффициентов вариации  $C_v$ ; а - чистая

электротехническая медь,  $t^\circ=1150^\circ\text{C}$ ; б - высоколегированный чугун,  $t^\circ=1350^\circ\text{C}$ ;

35 фиг.5. Алгоритм управления процедурой измерения и сигнализации.

Устройство для изучения кинематической вязкости расплавов содержит: тигель 1 с шихтой, помещенный в центр высокотемпературной зоны печи 2 с молибденовым цилиндрическим электронагревателем 3 и подвешенный на упругой нити 4, блок разгона 5, осуществляющий поворот подвесной системы на заданный угол для запуска

40 крутильных колебаний, зеркало 6, источник света 7, фотоприемное устройство 8, компьютер 9, выключатель 10 блока разгона 5, блок визуальной и звуковой сигнализации 11, счетчик с индикатором 12, блок визуальной и звуковой сигнализации 11 содержит, по меньшей мере, один визуальный 13 и один звуковой 14 сигнализаторы, управляющую шину 15 выключателя 10 блока разгона 5, входную

45 шину 16 блока визуальной и звуковой сигнализации 11.

Устройство выполнено на следующих элементах: тигель 1 изготовлен из высокотемпературной бериллиевой керамики, молибденовый цилиндрический электронагреватель 3 выполнен из листа толщиной в десятые доли мм, упругая нить 4

50 - нихромовая, длиной около 650 и диаметром 0,08 мм, блок разгона 5 выполнен в виде электродвигателя постоянного тока (на схеме не показано) с потребляемой мощностью, примерно, 70 мВт, соединенного с низковольтным блоком питания (на схеме не показано), зеркало 6 имеет площадь  $1\text{ см}^2$ , источник света 7 - сверхъяркий

светодиод L7113SEC-H фирмы Kingbright - см. каталог Kingbright, 2005-2006, фотоприемное устройство 8 содержит интегральные микросхемы - оптосенсоры TSL250 фирмы TAOS (или их аналоги OPT101, S4810 других фирм) - см. каталог ELFA - 55, 2007, р.812, расположенные на фиксированном расстоянии +/- L друг от друга симметрично относительно центра двусторонней оптической шкалы в положении равновесия и твердотельные оптореле PVG612 фирмы IR, персональный компьютер 9 - PC уровня не хуже P-2, выключатель блока разгона 10 собран на ключевой КМОП ИМС КТ561КТЗ, параллельно которой включен управляемый вручную аварийный тумблер - выключатель (на схеме не показан), блок визуальной и звуковой сигнализации 11 содержит: ключи КМОП ИМС КТ561КТЗ, одновибратор на основе КМОП ИМС КТ561ЛЕ5, визуальный 13 сигнализатор - светодиоды разных оптических диапазонов (цветов) серии АЛ307, звуковой 14 сигнализатор-стандартные автогенераторы-мультивибраторы на транзисторах КТ315, нагруженные на маломощную динамическую головку, например, 0,25ГД; вариант - визуальный 13 и звуковой 14 сигнализаторы блока визуальной и звуковой сигнализации 11 могут быть выполнены в виде одного многочастотного звукового генератора и одного многоцветного - например, двухцветного светодиода; счетчик с индикатором 12 - серийный частотомер Ф5035.

Устройство для изучения кинематической вязкости расплавов работает следующим образом.

Тигель 1, содержащий объем исследуемого металлического расплава около 3 см<sup>3</sup> и подвешенный на упругой нити 4, помещают в центр высокотемпературной зоны печи 2, нагревают до требуемой температуры коаксиальным цилиндрическим молибденовым электронагревателем 3, обеспечивающим изотермическую зону и включенным постоянно в течение всего эксперимента, после чего от блока электропитания (на схеме не показан), посредством выключателя 10, подают напряжение питания на блок разгона 5, создающий крутильные колебания 17. Коммутацию выключателя 10 осуществляют путем подачи по управляющей шине 15 сигнала от компьютера 9. Сигналом к выключению процедуры разгона и соответственно к началу цикла измерения служит достижение максимальной установившейся, для данной установки и данного эксперимента, амплитуды крутильных колебаний  $A_0$  и минимального временного интервала  $t_i$ . Одновременно, по управляющей шине 15 этот же сигнал от компьютера 9 через соответствующие ключевые каскады включает соответствующие визуальный 13 и звуковой 14 сигнализаторы блока визуальной и звуковой сигнализации 11. Сигнализаторы 13 и 14 могут быть модулированы, например с помощью одновибратора (ОВ) с длительностью импульса, например, 1 секунда. Такой непродолжительный звуковой сигнал мультивибраторного сигнализатора 14 с частотой  $F_1=400...600$  Гц и одновременное свечение, например, в зеленом диапазоне, светодиодного сигнализатора 13, длительностью, например, 1 с, служат сигналом экспериментатору о начале процедуры измерения. Траекторию колебаний 17 отслеживают с помощью зеркала 6, зафиксированного на упругой нити 4 подвесной системы с тиглем 1, при этом траектория светового луча от источника света 7, отражаясь от зеркала 6, воспроизводит кривую крутильных колебаний 17. В какой-то момент времени  $t_1$  отраженный луч попадает на один из фотосенсоров фотоприемного устройства 8, на выходе фотоприемного устройства 8 появляется соответствующий сигнал  $U_1$ , который через выходную шину фотоприемного устройства 8 вводят в компьютер 9 как стартовый для выполнения одного из фрагментов компьютерной программы -

расчета временных интервалов  $\tau_i$  необходимого для дальнейшего вычисления параметров логарифмического декремента затухания  $\delta$  по известным формулам.

Через некоторое время в момент  $t_2$  отраженный от зеркала 6 световой луч засвечивает другой фотосенсор фотоприемного устройства 8, на выходе фотоприемного устройства 8 появляется соответствующий сигнал  $U_2$ , который, аналогично первому сигналу  $U_1$ , вводят в компьютер 9 как стоповый сигнал данного фрагмента компьютерной программы - вычисления временных интервалов  $\tau_i$ .

Отметим, что период колебаний, например,  $T=4,2$  с однозначно связан с числом колебаний  $n_i$  для каждого конкретного эксперимента на данной установке, при времени полного затухания колебаний до нескольких десятков минут для каждой температурной точки измерения. На колебательной траектории 17 на фиг.2 отмечены амплитудные экстремумы, начиная с  $A_0$  до  $A_i$ , моменты времени  $t_1$ ,  $t_2$  прохождения линейного участка  $\Delta A$  колебательной траектории 17 отраженным световым лучом через фотосенсор фотоприемного устройства 8.

Начиная с момента выключения блока разгона 5, сопровождаемой вышеописанной процедурой визуальной и звуковой сигнализации, осуществленной блоком визуальной и звуковой сигнализации 11, начинается цикл измерения амплитудно-временных параметров затухающих крутильных колебаний ( $t_0=0$ ,  $A_i=A_0$ ). Передний фронт сигнала  $U_1$  запускает компьютерную программу расчета  $\delta$  по временным интервалам  $\tau_i$  в соответствии с формулой [1]. В процессе измерений выделяют характерный важный момент процедуры измерения, когда текущая амплитуда колебания уменьшается в  $e$  раз:  $A_i=A_0/e=A_e$ , соответственно, текущий временной интервал возрастает в  $e$  раз:  $\tau_i=e\tau_0=\tau_e$ , а количество колебаний становится равным  $n_i=n_e$ . При этом формула [1] упрощается, в вычислениях становится достаточно использовать только число колебаний  $n_e$ . Компьютерная программа вычисления  $\delta$  в момент окончания временного интервала  $\tau_1=\tau_e$ , когда появляется соответствующий сигнал  $U_{2e}$ , задний фронт которого для компьютера 9 является стоповым сигналом фрагмента компьютерной программы - вычисления временных интервалов  $\tau_i$ , включает блок визуальной и звуковой сигнализации 11, подавая на его входную шину 16 соответствующий сигнал. Этот сигнал включает через другие ключевые каскады другие визуальный 13 и звуковой 14 сигнализаторы блока визуальной и звуковой сигнализации 11, которые отличаются частотой звука, например,  $F_2=2\dots 3$  кГц  $\neq F_1$ , и цветом свечения, например, красным. Как вариант, визуальный 13 и звуковой 14 сигнализаторы блока визуальной и звуковой сигнализации 11 могут быть выполнены в виде одного многочастотного звукового генератора и одного двухцветного светодиода.

Сигналы с визуального сигнализатора 13 блока визуальной и звуковой сигнализации 11 через диодные разделительные цепочки (на схеме не показано) подаются как стартовый (с одного светодиода) и стоповый (с другого светодиода) сигналы в компьютер 9 и на вход счетчика с индикатором 12, который индицирует число  $n_i=n_e$ . Такая индикация количества колебаний, совместно со звуковой и визуальной сигнализацией, наглядно отражает ход эксперимента и его основные критические моменты, упрощает и облегчает как понимание хода исследования, так и принятие решений экспериментатором в случае необходимости.

Блок визуальной и звуковой сигнализации 11, а также счетчик с индикатором 12, могут быть реализованы в виртуальном виде посредством компьютера 9, при этом дисплей компьютера 9 служит, кроме всего прочего, визуальным сигнализатором 13 и



индикатором виртуального счетчика 12, а звуковая сигнализация воспроизводится акустическими излучателями компьютера или монитора.

При реализации в виртуальном виде блока визуальной и звуковой сигнализации 11, а также счетчика с индикатором 12, в компьютере 9, получены экспериментальные  
 5 данные затухающих крутильных колебаний тигля 1 с расплавами, приведенные на фиг.3: а - чистая электротехническая медь,  $t^{\circ}=1150^{\circ}\text{C}$ ; б - высоколегированный чугун,  $t^{\circ}=1350^{\circ}\text{C}$ .

Вычислены соответствующие уравнения экспонент затухающих крутильных  
 10 колебаний 18 для времени  $t$  и числа  $n$  колебаний, стандартные отклонения  $\sigma^2$  19, отмечена точка амплитуды  $A_i=A_0/e=A_e$  20 и  $\sigma^2$  21 для нее. Условная амплитуда  $Y_i$ , определяемая по времени прохождения светового луча на линейном участке  $\Delta A$  колебательной траектории 17 через оптосенсоры фотоприемного устройства 8:  
 15  $Y_i \sim 1/\Delta t = 1/(t_1 - t_2)$ , однозначно связана с амплитудами  $A_i$ . Время  $\Delta t$  измеряется пропорционально количеству тактов центрального процессора компьютера 9, имеющего, например, тактовую частоту  $f=166$  МГц. Аналогичные данные приведены на фиг.4 и отличаются тем, что вместо стандартного отклонения  $\sigma^2$  19 приведен  
 20 коэффициент вариации  $C_v=(\sqrt{\sigma/A_{\text{средн}}})100\%$  22, т.е. относительная ошибка в %, учитывающая стандартное отклонение  $\sigma^2$  19, в том числе и для  $A_e$  23. Данные фиг.3, 4 демонстрируют, что, с одной стороны, использование первых 5...10 амплитуд  $A_i$  в качестве  $A_n$  вызывает значительные ошибки (разброс как  $\sigma^2$  19, так и  $C_v$  22), что  
 25 соответствует данным некоторых исследователей (см. вышеуказанное С.И.Филиппов и др. «Физико-химические методы исследования металлургических процессов», М.: Металлургия, 1968, с.246). С другой стороны, использование «хвоста» экспоненты требует неоправданно больших временных затрат, при которых неизбежен угар  
 30 компонентов расплава, а точность растет незначительно. К тому же, есть опасность захода в нелинейную область амплитуд, где линейный отрезок  $\Delta A$  косинусоиды 17 (см. фиг.2) вырождается в собственно косинусоиду, после чего невозможно оценить достоверность и точность результатов. Поэтому сигнализация в важной точке  $A_e$  20, индицирующая конец измерений (второй сигнал), является оптимальным решением  
 35 для измерения необходимого и достаточного числа колебаний  $n=n_e$ , позволяющим получить обоснованный, достоверный и точный результат ( $C_v$  23 равно 0,5...0,7%) вместо субъективного, длительного, сложного и не всегда обоснованного измерения  
 40 разного количества амплитуд  $A_i$  18. Применение сигнализации в данной точке позволяет обоснованно автоматизировать, по меньшей мере, цикл измерения амплитудно-временных параметров затухающих крутильных колебаний, начиная с  
 45 момента выключения блока разгона 5 (первый сигнал).

Алгоритм управления процедурой измерения и сигнализации приведен на фиг.5.

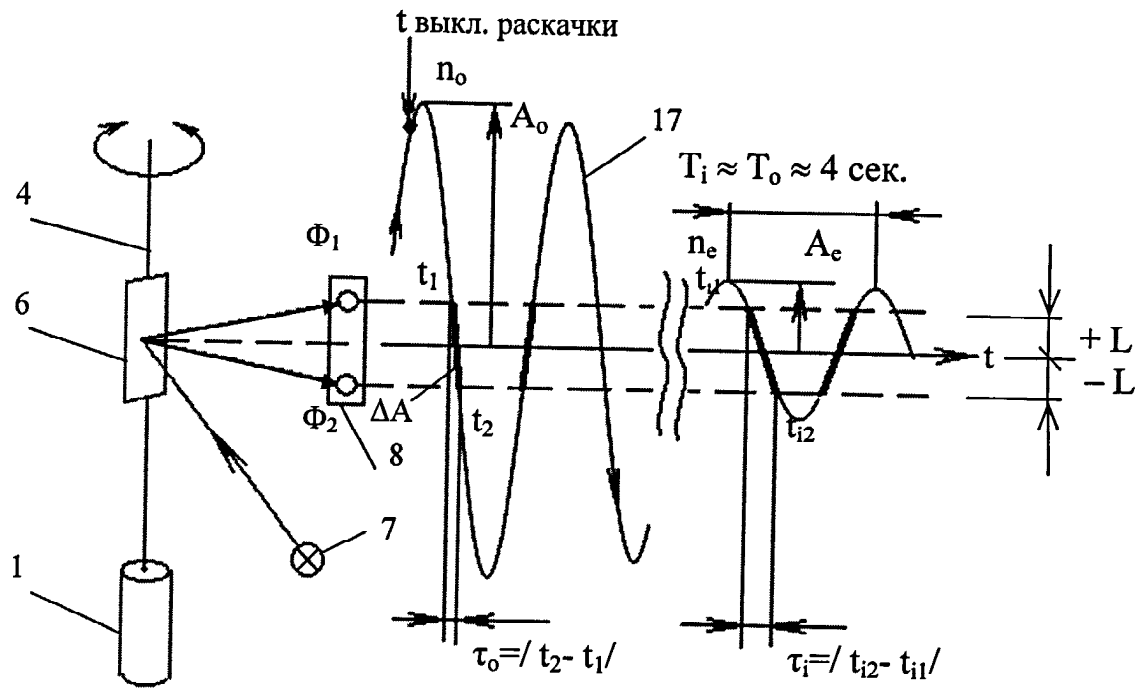
Техническим результатом предлагаемого технического решения является  
 50 повышение уровня автоматизации, упрощение и, в большинстве случаев, ускорение экспериментов с одновременным уменьшением угара расплава, при сохранении достоверности определения амплитудно-временных параметров затухания крутильных колебаний тигля с расплавом при измерении кинематической вязкости  
 металлических расплавов посредством предлагаемого устройства. Обеспечивается  
 55 снижение напряженности труда исследователя, расширение сферы применения устройства, в частности возможность работы с устройством малоквалифицированному персоналу, например студентам.

## Формула изобретения

1. Устройство для изучения кинематической вязкости расплавов, содержащее вискозиметрический модуль в вакуумируемой и водоохлаждаемой камере, вдоль оси которой, в зоне нагрева электронагревателя, размещена подвесная система с тиглем, блок разгона подвесной системы, выключатель блока разгона, зеркало, источник света, фотоприемное устройство, компьютер, отличающееся тем, что в него введены блок визуальной и звуковой сигнализации, содержащий, по меньшей мере, один визуальный и один звуковой сигнализаторы, счетчик с индикатором, входная шина блока визуальной и звуковой сигнализации соединена с одним из портов компьютера, вход счетчика с индикатором и компьютер соединены с выходной шиной блока визуальной и звуковой сигнализации, а выключатель блока разгона соединен также с одним из портов компьютера.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что блок визуальной и звуковой сигнализации выполнен в виде, по меньшей мере, двухдиапазонного оптического и двухчастотного звукового сигнализатора с регулируемыми параметрами, например временем сигнализации.

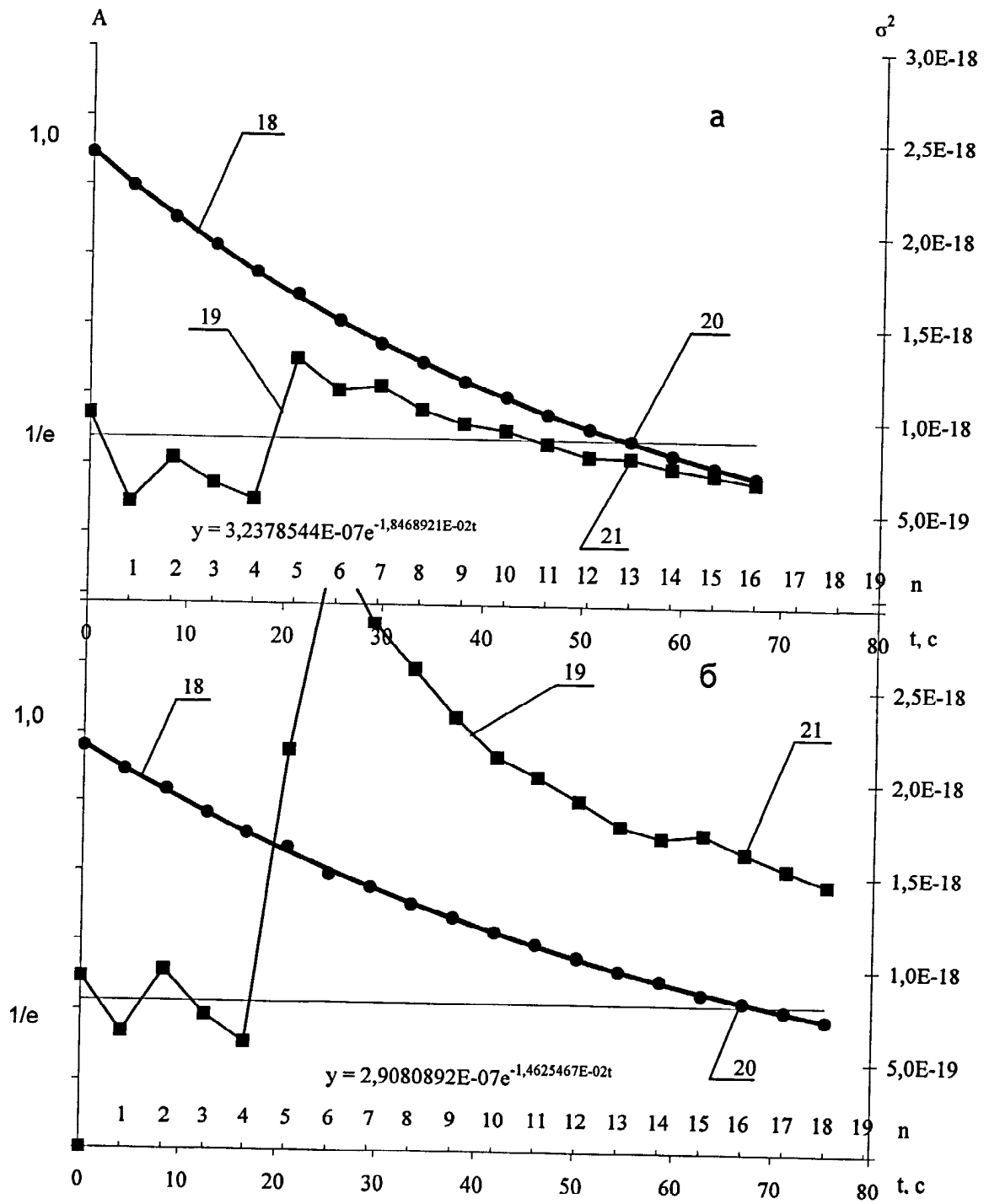
3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что выключатель блока разгона выполнен в виде электронного ключа.



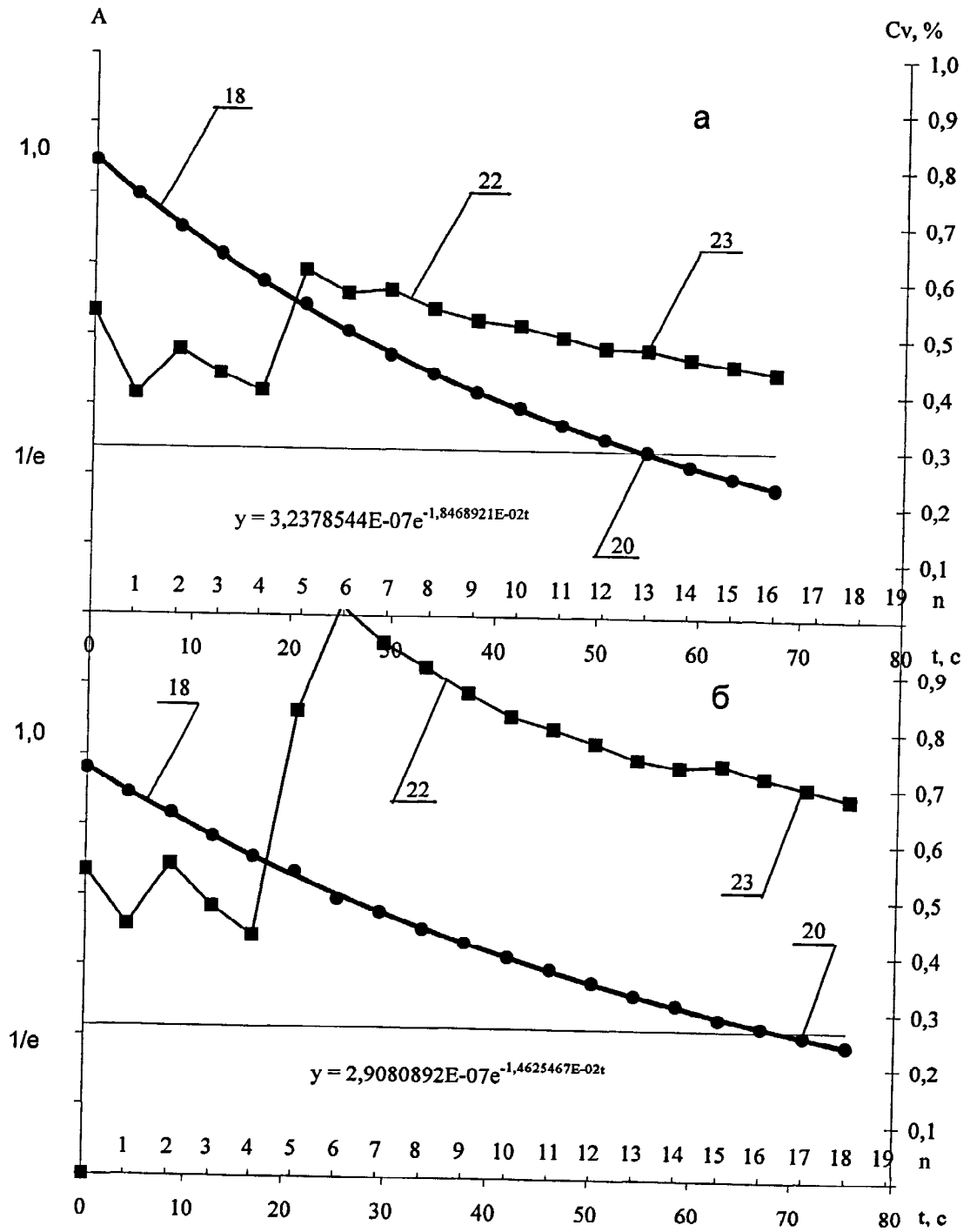
$$A_e = A_0 / e$$

$$\tau_i = \tau_0 \times e$$

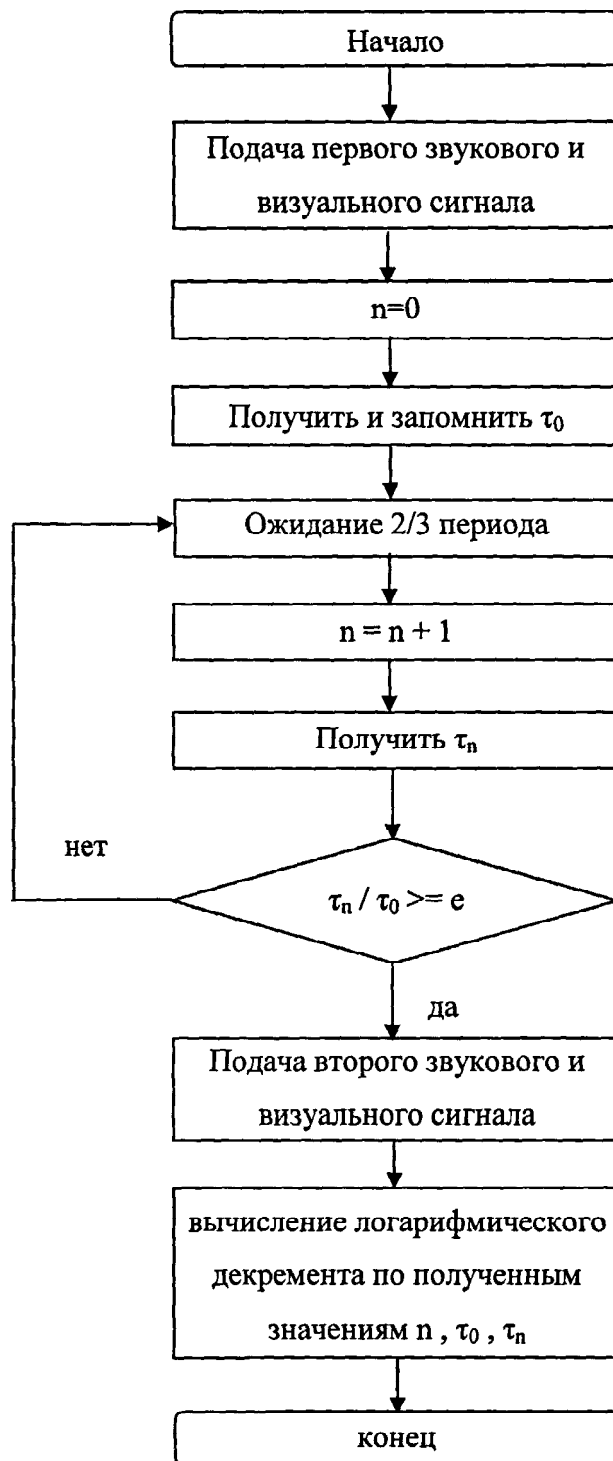
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг.5